

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 8 月 4 日
Date of Application:

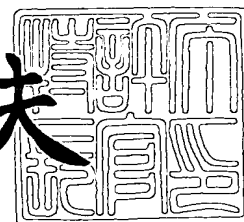
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 2 0 5 7 8 0
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 2 0 5 7 8 0]

出 願 人 株式会社豊田中央研究所
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 2 9 7 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 P000014262

【提出日】 平成15年 8月 4日

【あて先】 特許庁長官 今井 康夫 殿

【国際特許分類】 C22C 14/00

【発明の名称】 チタン合金およびその製造方法

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式
会社豊田中央研究所内

【氏名】 倉本 繁

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式
会社豊田中央研究所内

【氏名】 古田 忠彦

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式
会社豊田中央研究所内

【氏名】 ファン ジョンハン

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式
会社豊田中央研究所内

【氏名】 チン ロン

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式
会社豊田中央研究所内

【氏名】 鈴木 伸明

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1番地の1株式会社豊田中央研究所内

【氏名】 西野 和彰

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1番地の1株式会社豊田中央研究所内

【氏名】 齋藤 卓

【特許出願人】

【識別番号】 000003609

【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所

【代表者】 石川 宣勝

【代理人】

【識別番号】 100081776

【弁理士】

【氏名又は名称】 大川 宏

【電話番号】 (052)583-9720

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-275171

【出願日】 平成14年 9月20日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009438

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9102997

【プルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】チタン合金およびその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】全体を100質量%としたときに主成分であるチタン(Ti)と

下記式に示すモリブデン当量(Moeq)を3~11質量%とする合金元素を一種以上と、

0.3~3質量%の、酸素(O)、窒素(N)または炭素(C)の一種以上からなる侵入型固溶元素とを含有すると共に、

アルミニウム(Al)は1.8質量%以下であり、

少なくとも室温でβ単相であることを特徴とするチタン合金。

$$\begin{aligned} \text{Moeq} = & \text{Mo} + 0.67 \times \text{V} + 0.44 \times \text{W} + 0.28 \times \text{Nb} \\ & + 0.22 \times \text{Ta} + 2.9 \times \text{Fe} + 1.6 \times \text{Cr} + 1.1 \times \text{Ni} + \\ & 1.4 \times \text{Co} + 0.77 \times \text{Cu} - \text{Al} \\ & (\text{元素量の単位は全て質量\%}) \end{aligned}$$

【請求項2】前記侵入型固溶元素は、Oである請求項2に記載のチタン合金。

【請求項3】ヤング率が70GPa以下の低剛性である請求項1に記載のチタン合金。

【請求項4】引張強度が1000MPa以上の高強度である請求項1に記載のチタン合金。

【請求項5】弾性変形能が1.6%以上の高弾性である請求項1に記載のチタン合金。

【請求項6】全体を100質量%としたときに主成分であるチタンTiと下記式に示すMoeqを3~11質量%とする合金元素を一種以上と0.3~3質量%の、O、NまたはCの一種以上からなる侵入型固溶元素とを含有すると共にAlが1.8質量%以下であるチタン合金原材を加熱してβ単相とする加熱工程と、該加熱工程後のチタン合金原材を急冷する急冷工程とからなる溶体化処理を施

して、

少なくとも室温で β 単相のチタン合金を得ることを特徴とするチタン合金の製造方法。

$$\begin{aligned} Moeq = & Mo + 0.67 \times V + 0.44 \times W + 0.28 \times Nb \\ & + 0.22 \times Ta + 2.9 \times Fe + 1.6 \times Cr + 1.1 \times Ni + \\ & 1.4 \times Co + 0.77 \times Cu - Al \\ & \text{(元素量の単位は全て質量\%)} \end{aligned}$$

【請求項7】前記加熱工程は、前記チタン合金原材が β 単相となる β 変態点以上に1～60分間保持する工程である請求項6に記載のチタン合金の製造方法。

【請求項8】前記急冷工程は、冷却速度を0.5～500 K/secとする工程である請求項6に記載のチタン合金の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、チタン合金およびその製造方法に関するものである。詳しくは、利用分野および用途の広い、新規な β 型チタン合金およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

チタン合金は比強度や耐蝕性に優れるため、航空、軍事、宇宙、深海探査、化学プラントなどの特殊分野で多用されている。このチタン合金はその組織上、 α 型、 $\alpha + \beta$ 型、 β 型に分類される。これまでは、Ti-6%Al-4%V等の $\alpha + \beta$ 型チタン合金が多用されてきたが、加工性、熱処理性、強度、剛性等の点で優れる β 型チタン合金が最近注目されている。この β 型チタン合金は、上記のような特殊な分野以外にも、例えば、生体適合品（例えば、人工骨等）、装身具（例えば、時計や眼鏡のフレーム等）、スポーツ用品（例えば、ゴルフクラブ等）といった身近な分野でも利用されつつある。

【0003】

ところで、チタン合金が室温付近でいずれの相となるかは、含有する合金元素の種類およびその量に大きく依存する。例えば、 β 型チタン合金の場合、通常、Mo等の β 相安定化元素を比較的多く含有させて、溶体化処理を施すことによって得られる。

【0004】

その際に添加される β 相安定化元素は多種あり、元素毎に β 相の安定化度合は異なる。また、 β 型チタン合金であっても、強度向上等を図るために、Al等の α 相安定化元素を適宜を含有させることも多い。そこで、含有させる合金元素の種類および含有量によって、いずれのチタン合金が得られるかを判定する指標があれば非常に有意義である。その一つとしてモリブデン当量(Moeq)がある。このMoeqは β 相の安定性を指標するものであり、Moeqが十分に大きいと、 β 相の安定性が増して β 型チタン合金が得られ易くなり、逆に、Moeqが小さいと、 α 型チタン合金が得られ易い。また、その中間領域では、 $\alpha + \beta$ 型チタン合金と成り易い。

【0005】

このMoeqを用いてチタン合金を特定したものとして、例えば、下記に挙げた特許文献1～4がある。特許文献1には、Moeqを2～10%とした $\alpha + \beta$ 型チタン合金が開示されている。また、特許文献2には、Moeqを2～4.5%とした $\alpha + \beta$ 型チタン合金が開示されている。特許文献3には、Moeqを0～10%とした $\alpha + \beta$ 型チタン合金が開示されている。なお、比較例としてであるが、Moeqを9.5%としたTi-10%V-2%Fe-3%AlやMoeqを11.5%としたTi-15%V-3%Al-3%Cr-3%Sn(単位は全て質量%)を、鑄造状態から急冷することにより β 等軸晶の単相組織となる旨も、そこには記載されている。

【0006】

特許文献4には、Moeqを16%より大きくしたTi-Fe-Nb-Alからなる準安定 β チタン系合金が開示されている。また、Moeqが11.5%以上の5つの合金について、それらを β 変質温度以上から急冷することにより10

0% β 構造となる旨も、そこには記載されている。

但し、これらいずれの特許文献に開示されたチタン合金も、侵入型固溶元素（酸素等）の含有量は0.3%未満である。

【0007】

一方、酸素（O）等を比較的多く含有させたチタン合金を開示したものとして、特許文献5～9等がある。これらに開示されたものは、いずれも $\alpha + \beta$ 型チタン合金または α' 相と β 相とからなるチタン合金に関するものである。

【0008】

さらに、下記の特許文献1には、Ti-2%Al-16%V-0.59%O（単位：質量%）が開示されている。このチタン合金は、Mo eqが8.7%でO量が0.59%であるが、Alが2%と多いため、弾性変形能が1%に満たず延性に乏しいものとなっている（Fig. 15参照）。また、その引張強度も1000MPa未満と小さい。

なお、上述したいずれの公報にも、チタン合金のヤング率に関して積極的な記載がされているものはないことを断っておく。

【0009】

【特許文献1】

特開平8-224327号公報（特許第2999387号公報）

【特許文献2】

特開2000-204425号公報

【特許文献3】

特開平9-322951号公報（【0014】、【0022】）

【特許文献4】

特開平7-292429号公報（【0012】）

【特許文献5】

特開平7-252618号公報、

【特許文献6】

特開平9-209099号公報、

【特許文献7】

特開平 10-94804 号公報、

【特許文献 8】

特開平 10-265876 号公報

【特許文献 9】

特開平 11-61297 号公報

【非特許文献 1】

Metallurgical Transactions A, vol.19A, Mar 1998 pp527-542

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上述の公報等の開示された従来のチタン合金とは全く異なる発想の下になされたものであって、加工性、機械的特性等に優れた β 型チタン合金を提供するものである。また、その β 型チタン合金の製造に適したチタン合金の製造方法をも併せて提供する。

【0011】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

本発明者は、低ヤング率のチタン合金について鋭意研究し、試行錯誤を重ねてきた結果、従来、 β 相の安定域とはされていない、Mo e q が比較的低い組成をもつチタン合金であっても、O 量を多く含有させることにより室温でも安定した β 単相のチタン合金が得られるという、全く新規な発見をした。そしてこの発見に基づき、本発明は完成されるに至ったものである。

(チタン合金)

すなわち、本発明のチタン合金は、全体を 100 質量%としたときに主成分である Ti と、下記式に示す Mo e q を 3~11 質量%とする合金元素を一種以上と、0.3~3 質量%の、O、N または C の一種以上からなる侵入型固溶元素とを含有すると共に、Al は 1.8 質量%以下であり、少なくとも室温 (273~313 K: 以下同様) で実質的に β 単相であることを特徴とする。

$$\begin{aligned} \text{Mo e q} = & \text{Mo} + 0.67 \times \text{V} + 0.44 \times \text{W} + 0.28 \times \text{Nb} \\ & + 0.22 \times \text{Ta} + 2.9 \times \text{Fe} + 1.6 \times \text{Cr} + 1.1 \times \text{Ni} + \\ & 1.4 \times \text{Co} + 0.77 \times \text{Cu} - \text{Al} \quad (\text{元素量の単位は全て質量\%}) \end{aligned}$$

【0012】

チタン合金は、六方晶の α 相の存在により強度等が上昇するものの、その分、加工性が悪い。チタン合金の利用拡大を図る上で、加工性や機械的特性に優れた、立方晶からなる β 型チタン合金が望まれている。

前述したように、従来の β 型チタン合金は、Mo eq が十分に大きな組成からなっていた（例えば、Mo eq ≥ 13 質量%）。しかし、Mo eq が大きくなると、その分、含有される合金元素量も増加するため、コスト上昇、密度増加、比強度の低下等を招くこととなる。

【0013】

本発明では、このMo eq を比較的小さくしつつも、O等の侵入型固溶元素を比較的多く含有させることによって、安定した β 単相のチタン合金を得ている。このため、本発明のチタン合金は、大きなコスト上昇や密度増加を招くこともなく、優れた加工性や機械的特性が得られる。

なお、本発明でいう「 β 単相」は、試料をX線回折で観察したときに、認識可能な範囲内で、 β 相のみからなれば足る。従って、その「 β 単相」には、X線回折でも検出されないような僅かな α 相等が存在している場合も含まれる。

【0014】

このようなチタン合金が得られる詳細なメカニズム等は現状必ずしも明らかではないが、次のように考えられる。

先ず、Mo eq を3～11質量%としつつ、O量等の侵入型固溶元素を一般的な0.3%未満としたチタン合金を通常の溶解法等で製造した場合、室温で α 相+ β 相の2相合金となる。このチタン合金に、十分な高温から急冷する溶体化処理を施した場合、 α 相の代わりに準安定相である α' あるいは α'' 相が出現し得る。そして、O等の侵入型固溶元素は、 α 相安定化元素であるから、従来、その侵入型固溶元素を増量させる程、 α 相や準安定相の α' 相あるいは α'' 相が生成し易くなると言われてきた。もっとも、侵入型固溶元素がそれらの生成挙動に及ぼす影響を明らかにしたものはなかった。

【0015】

本発明者は、このような従来の一般的な認識に反して、Mo eq が3～11質

量%のチタン合金であっても、O等の侵入型固溶元素が多い場合には、溶体化処理後の α' 相あるいは α'' 相の準安定相の生成が抑制されることを初めて見出した。この理由は、次のように考えられる。

チタン合金を高温域から室温域まで急冷したときに、高温で安定な β 相から α' 相あるいは α'' 相が生成されるためには、結晶格子のせん断やシャッフルの過程が必要となる。ところが、O等の侵入型固溶元素が存在していると、そのような過程が起り難くなり、 α' 相や α'' 相の生成も困難となって、結果的に、室温でも安定な β 単相のチタン合金が得られたと考えられる。

【0016】

より詳しくいえば、 α' 相や α'' 相の生成には、侵入型固溶元素の存在する8面体空隙で、急冷に伴うせん断やシャッフルによる形状変化が必要となる。しかし、この形状変化は、侵入型固溶元素の周りの応力場を変化させてエネルギー的に不安定な状態にするため、侵入型固溶元素量が増える程、そのような変化が規制され、 α' 相や α'' 相の生成が抑制されたと考えられる。

なお、ここでいう α 相および α' 相は六方晶であり、加工性を劣化させるものである。 α'' 相は斜方晶であり加工性を劣化させることはないものの、変形時、比較的低い応力レベルで、 β 相 \rightarrow α'' 相の応力誘起変態を生じさせる。そのため、チタン合金の比例限低下、弾性強度の低下、疲労特性の劣化等を招き得る。

【0017】

(チタン合金の製造方法)

本発明のチタン合金は、その製造方法が限定されるものではないが、例えば、次の本発明の製造方法により得られる。

すなわち、本発明のチタン合金の製造方法は、全体を100質量%としたときに主成分であるチタンTiと前記のMo、eqを3～11質量%とする合金元素を一種以上と0.3～3質量%の、O、NまたはCの一種以上からなる侵入型固溶元素とを含有すると共にAlが1.8質量%以下であるチタン合金原材を加熱して β 単相とする加熱工程と、該加熱工程後のチタン合金原材を急冷する急冷工程とからなる溶体化処理を施して、

少なくとも室温で実質的に β 単相のチタン合金を得ることを特徴とする。

【0018】

本発明の製造方法では、Mo e q を 3 ~ 11 質量% としつつ、O 等の侵入型固溶元素を比較的多く含有させたチタン合金原材を、先ず、十分な高温域まで加熱して β 単相とする。この後、急冷することで、前述したように、O 等の侵入型固溶元素が α' 相や α'' 相の準安定相の生成を抑制し、室温でも安定な β 単相のチタン合金が得られると考えられる。この詳細なメカニズム等は、前述したように、現状必ずしも明らかでない。

【0019】

なお、本発明の上記加熱工程では、チタン合金原材の全体を β 単相とすることが重要であるので、加熱工程中の下限温度は、 $\alpha + \beta / \beta$ の変態点温度以上とするのが良い。O 等の α 相安定化元素の存在により、 $\alpha + \beta / \beta$ の変態点温度が上昇し、特に本発明の場合、その含有が多いから変態点温度の上昇分も大きくなる。しかし、チタン合金原材をその変態点以上に加熱して全体を β 単相とすることで、O 等の侵入型固溶元素を多量に含有していても、全体を β 単相とするチタン合金が安定して得られる。いうまでもないが、その変態点は、チタン合金の組成により変化するため、一概に特定することはできない。

【0020】

上述したように、本発明によれば、比較的広い組成範囲で β 単相のチタン合金が得られる。そして、このチタン合金は、加工性に優れる他、強度、剛性（ヤング率）、延性等の少なくとも一つ以上の機械的特性に優れる。

但し、本発明のチタン合金は、その組成が重要であり、溶体化処理等により室温で β 単相となり得るものであれば足る。逆にいえば、その後さらに熱処理（例えば、時効処理等）を施したり、使用される環境（例えば、高温域）変化によって、合金組織が β 単相から変化しても良い。

【0021】

本発明で Mo e q を 3 ~ 11 質量% としたのは、Mo e q が 3 質量% 未満であると、 β 相の安定性が低下して β 単相が得難くなり、Mo e q が 11 質量% を超えると、 β 相を得易いものの、前述したようにコスト上昇、密度増加等を招くからである。

このような観点から、Mo e q の下限値が 3.5 質量%、4 質量%、5 質量% となり、その上限値が 10.5 質量%、10 質量%、9 質量%となる程、好ましい。

O 等の侵入型固溶元素を 0.3 ~ 3 質量%としたのは、侵入型固溶元素が 0.3 質量%未満であると、 α' 相や α'' 相の準安定相の生成を十分に抑制することが困難となり、侵入型固溶元素が 3 質量%を超えると、 α 相の安定性が高くなり、高温でも β 単相とすることが不可能となるからである。

【0022】

このような観点から、侵入型固溶元素の下限値が、0.35 質量%、0.4 質量%、0.5 質量%、0.6 質量%、0.7 質量%となり、その上限値が、2.9 質量%、2.8 質量%となる程、好ましい。

なお、上記の各下限値および上限値は、適宜、組合わせ可能である。また、本明細書で、前記各元素の組成範囲を「x ~ y 質量%」と示した場合、特に断らない限り、下限値 (x) および上限値 (y) も含む。

【0023】

【発明の実施の形態】

次に、実施形態を挙げ、本発明をより詳しく説明する。なお、以下に説明する内容は、本発明のチタン合金のみならず、その製造方法にも適宜該当するものである。

(1) 合金元素

本発明のチタン合金（チタン合金原材も同様）に含有される主な合金元素およびその含有量は、前述した Mo e q が 3 ~ 11 質量%となる範囲である。いずれの元素を選択し、組合わせて含有させるかにより、Mo e q の換算式上で、各合金元素の上限値や下限値は異なることになる。但し、各合金元素は、次のような観点からも適宜、その種類や含有量が考慮されると好ましい。

【0024】

なお、本発明は Ti を主成分としたチタン合金に関するものであるが、Ti は残部であって、その含有が限定されるものではない。例えば、原子比率で考えたときに、含有元素中でもっとも多い元素が Ti であれば良い。特に、チタン合金

全体を100原子%としたときに、Ti含有量が50原子%以上であると、低密度化、高比強度化を図る上で好ましい。また、当然に、不可避不純物は存在し得る。

【0025】

Mo eq の換算式中に記載された、モリブデン (Mo)、クロム (Cr) またはタングステン (W) は、チタン合金の強度や熱間加工性を向上させる元素であり、20質量%以下とするのが好ましい。MoやCrが、20質量%を越えると、材料偏析が生じ易くなり、均質な材料を得ることが困難となる。それらの元素を1質量%以上、さらに、3～15質量%とすると、より好ましい。

【0026】

鉄 (Fe)、ニッケル (Ni) またはコバルト (Co) は、Mo等と同様、チタン合金の強度と熱間加工性を向上させる元素であり、10質量%以下とするのが好ましい。Mo等の代わりにまたはそれらと共に含有させても良い。Fe等が、10質量%を越えると、Tiとの間で金属間化合物を形成し、延性が低下してしまう。それらの元素を1質量%以上、さらに、2～7質量%とすると、より好ましい。

【0027】

バナジウム (V)、ニオブ (Nb) およびタンタル (Ta) のVa族元素は、β相を安定化させるとともにヤング率を低下させる元素であり、3～40質量%とするのが好ましい。3質量%未満では、その効果が薄く、40質量%を超えると、材料偏析による材料の均質性が損われ、強度のみならず靱性や延性の低下も招き易くなる。

【0028】

Alは、チタン合金の強度を向上させる元素であるが、侵入型固溶元素量が多い場合、特にAlの含有量が増え過ぎると、チタン合金の延性が低下する。また、その分Mo eq を低下させてしまうことになる。そこで、本発明ではAlの上限を1.8質量%とした。Alの上限は、1.7質量%、1.6質量%または1.5質量%とするとより良い。本発明のチタン合金の場合、Alは必須元素ではないので、その下限は特定されず、敢ていうなら0質量%がその下限となる。も

とも、Alによってチタン合金の強度向上を図る場合、その下限は0.3質量%、0.4質量%さらには0.5質量%であると好ましい。ちなみに、上記延性の低下は、塑性変形開始前に破断を生じ得るため、結果的に弾性変形能の低下をも招来することとなる。

以上、Mo eqの換算式に現れた主な合金元素について説明したが、それ以外にも、例えば、銅(Cu)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、スカンジウム(Sc)、マンガン(Mn)、錫(Sn)またはホウ素(B)等の種々の合金元素を一種以上含有していても良い。

【0029】

(2) 侵入型固溶元素

侵入型固溶元素は、前述のように、O、NまたはCの一種以上からなる。それらの合計が0.3～3質量%であれば良い。勿論、チタン合金がNやCを含まず、Oのみを0.3～3質量%含有していても良い。さらに、Oが0.5～1.5質量%であると一層好ましい。

前述したように、これらの侵入型固溶元素は、 α 相安定化元素であるものの、本発明では α' 相や α'' 相の生成抑制効果を発現する。その他、侵入型固溶元素は、チタン合金の強度向上にも有効である。

【0030】

(3) 溶体化処理

本発明の溶体化処理は、前述のように、 β 相が安定に存在する高温域までチタン合金原材を加熱する加熱工程と、この加熱したチタン合金原材を急冷する急冷工程とからなる。

【0031】

この加熱工程は、 β 相中で、各合金元素および侵入型固溶元素を十分に拡散させるために重要である。この加熱工程は、例えば、チタン合金原材を β 単相となる β 変態点以上に1～60分間保持する工程であると好ましい。なお、この加熱工程は、溶体化処理専用の工程でなくとも良く、例えば、熱間加工等と融合していても良い。

【0032】

急冷工程によって、チタン合金は、通常、前記加熱工程の高温域から室温域まで急激に冷却される。このときの冷却速度は、室温で β 単相が得られるものであると十分である。例えば、冷却速度を $0.5 \sim 500 \text{ K/sec}$ とすると、安定した β 単相が得られるので好ましい。

【0033】

本発明では、チタン合金原材料の製造方法までは問わない。例えば、チタン合金原材料は、溶製材で焼結材であっても良い。もっとも、溶解法ではなく焼結法を用いることにより、多量の合金元素や侵入型固溶元素を含む場合でも、マクロ的な偏析を避けて安定した品質のチタン合金が効率的に得られる。つまり、焼結法を用いることで、チタンの溶解に要する多くの工数やコストを削減し、特殊な装置等の使用を回避できる。焼結法で使用する原料粉末は、特に限定されないが、配合組成と得られたチタン合金組成とが必ずしも一致している必要はない。例えば、 O 量等は、焼結を行う雰囲気によっても変動するからである。

チタン合金原材料は、種々の形態をとり得る。例えば、鋳塊、スラブ、ビレット、焼結体、圧延品、鍛造品、線材、板材、棒材等の素材でも良いし、それに一定の加工を施した部材でも良い。

【0034】

(4) チタン合金の特性

本発明のチタン合金は、耐蝕性、比強度等に優れるのは勿論、実質的に β 単相からなることから加工性にも優れる。ここでいう加工は、熱間加工、冷間加工、切削加工等、その種類を特に問わない。

また、 β 単相からなることもあり、 α 型チタン合金等とは異なる優れた機械的特性をも多く併せ持つ。例えば、 α 型チタン合金等に比べてヤング率が非常に低く、強度（引張強度、弾性限強度、疲労強度等）が非常に高い。さらに、延性や伸びも大きく、ヤング率が低く弾性限強度が高いことから弾性変形能も大きい。なお、弾性変形能は、引張弾性限強度内における伸びを意味する。

【0035】

これらの各特性の程度は、組成の他、施す処理や製法によっても異なるため、一概には規定できないが、本発明のチタン合金は、例えば、次のような特性をも

つ。

ヤング率が70GPa以下の低剛性であったり、引張強度が1000MPa以上または引張弾性限強度が800MPa以上の高強度であったり、弾性変形能が1.6%以上の高弾性であったりする。

【0036】

(5) チタン合金の用途

本発明のチタン合金は、前述の特性に基づいて、種々の製品に幅広く利用できる。そして、優れた冷間加工性をも備えることから、生産性の向上や低コスト化等を容易に図れる。例えば、産業機械、自動車、バイク、自転車、精密機器、家電品、航空宇宙機器、船舶、装身具、スポーツ・レジャー用品、生体関連品、医療器材、玩具等に利用できる。

【0037】

自動車の(コイル)スプリングに本発明のチタン合金を利用した場合、ヤング率が小さく、弾性変形能が大きいため、従来のバネ鋼に対して巻き数の低減が可能となる。また、本発明のチタン合金は、通常のスプリング鋼よりかなり軽量であるため、その大幅な軽量化が実現できる。

装身具の一種である眼鏡フレーム、特に、その蔓に本発明のチタン合金を利用した場合、低ヤング率であるために、蔓部分等が撓み易くなり、顔によくフィットし、また、衝撃吸収性や形状の復元性にも優れる。また、高強度で冷間加工性にも優れるため、細線材から眼鏡フレーム等への成形も容易であり、その歩留りも向上する。

【0038】

スポーツ・レジャー用品の一種であるゴルフクラブ、特に、そのシャフトに本発明のチタン合金を利用した場合、そのシャフトはしなり易くなり、ゴルフボールへ伝達される弾性エネルギーが増して、ゴルフボールの飛距離が向上し得る。また、ゴルフクラブのヘッド、特にフェース部分が本発明のチタン合金からなる場合、その低ヤング率と高強度による薄肉化とによりヘッドの固有振動数が従来のチタン合金に比べて著しく低減する。そのため、そのヘッドを備えるゴルフクラブによれば、ゴルフボールの飛距離を相当伸ばし得る。その他、本発明のチタン

合金によれば、その優れた特性により、ゴルフクラブの打感等も向上させることが可能であり、ゴルフクラブの設計自由度を著しく拡大させることができる。

【0039】

医療分野では、人工骨、人工関節、人工移植片、骨の固定具等の生体内に配設されるものや医療器械の機能部材（カテーテル、鉗子、弁等）等に本発明のチタン合金を利用できる。例えば、人工骨が本発明のチタン合金からなる場合、その人工骨は人骨に近い低ヤング率をもち、人骨との均衡が図られて生体適合性に優れると共に、骨として十分な高強度を有する。

【0040】

本発明のチタン合金は、制振材にも適する。 $E = \rho V^2$ （ E ：ヤング率、 ρ ：材料密度、 V ：材料内を伝わる音速）の関係式から解るように、ヤング率を低下させることにより、その材料内を伝わる音速を低減できるからである。

さらに、本発明のチタン合金は、例えば、素材（線材、棒材、角材、板材、箔材、繊維、織物等）、携帯品（時計（腕時計）、バレッタ（髪飾り）、ネックレス、ブレスレット、イヤリング、ピアス、指輪、ネクタイピン、ブローチ、カフスボタン、バックル付きベルト、ライター、万年筆のペン先、万年筆用クリップ、キーホルダー、鍵、ボールペン、シャープペンシル等）、携帯情報端末（携帯電話、携帯レコーダ、モバイルパソコン等のケース等）、エンジンバルブ用のスプリング、サスペンションスプリング、バンパー、ガスケット、ダイアフラム、ベローズ、ホース、ホースバンド、ピンセット、釣り竿、釣り針、縫い針、ミシン針、注射針、スパイク、金属ブラシ、椅子、ソファ、ベッド、クラッチ、バット、各種ワイヤ類、各種バイнда類、書類等クリップ、クッション材、各種メタルシール、エキスパンダー、トランポリン、各種健康運動機器、車椅子、介護機器、リハビリ機器、ブラジャー、コルセット、カメラボディー、シャッター部品、暗幕、カーテン、ブラインド、気球、飛行船、テント、各種メンブラン、ヘルメット、魚網、茶濾し、傘、消防服、防弾チョッキ、燃料タンク等の各種容器類、タイヤの内張り、タイヤの補強材、自転車のシャシー、ボルト、定規、各種トーションバー、ゼンマイ、動力伝動ベルト（CVTのフープ等）等の各種分野の各種製品に利用できる。

そして、本発明のチタン合金およびその製品は、鑄造、鍛造、超塑性成形、熱間加工、冷間加工、焼結等、種々の製造方法により製造され得る。

【0041】

【実施例】

次に、実施例を挙げて、本発明をより具体的に説明する。

(供試材の製造)

供試材として、試験片 No. 1～4 および C1～C3 を次のように製造した。

(1) 試験片 No. 1～4

平均粒径が $45\mu\text{m}$ 以下の Ti 粉末、V 粉末、Fe 粉末、Al 粉末、Mo 粉末、Nb 粉末、Ta 粉末および Zr 粉末などを用意し、これらの原料粉末を秤量して表 1 に示す合金組成となるように配合した。これらの粉末をボールミルで 2 時間混合して混合粉末とした（混合工程）。

【0042】

この混合粉末を圧力 400MPa ($4\text{ton}/\text{cm}^2$) の静水圧下で CIP 成形して、 $\phi 40 \times 80\text{mm}$ の円柱形状の粉末成形体を得た（成形工程）。

これを $1 \times 10^{-5}\text{torr}$ ($1.3 \times 10^{-3}\text{Pa}$) の真空中で $1300^\circ\text{C} \times 16$ 時間加熱して焼結させ、焼結体とした（焼結工程）。さらに、この焼結体を 1050°C の大気中で熱間鍛造して（熱間加工工程）、 $\phi 18\text{mm}$ の丸棒（チタン合金原材）に鍛伸した。

【0043】

この丸棒を Ar ガス雰囲気では $\alpha + \beta / \beta$ 変態点以上に所定時間加熱保持した後（加熱工程）、水冷して（急冷工程）、溶体化処理を行った。なお、この溶体化処理では、 $900 \sim 1050^\circ\text{C} \times 30$ 分間の加熱を行った。

そして、この丸棒（溶体化合金）から切出した一部に冷間スウェージ加工を施して $\phi 8.5$ とした（冷間加工工程）。これに機械加工を加えて、 $\phi 8 \times 30\text{mm}$ の試験片を製造した。なお、このときの冷間加工率は約 78% である。

【0044】

(2) 試験片 No. C1～C3

Mo eq、O 量若しくは Al 量が、上記試験片と異なるものを製造した。これ

らの組成等も表 1 に併せて示した。製造方法は、試験片 No. 1 ～ 4 の場合と同様である。

【0045】

(試験片の測定等)

上述した各試験片の機械的特性を以下の方法により求めた。

(1) ヤング率、引張強度、引張弾性限強度および弾性変形能

各試験片の引張試験を、インストロン試験機（インストロン社製の万能引張試験機）で行い、荷重と伸びとを測定して、応力-歪線図を作成した。伸びは試験片の側面に貼り付けたひずみゲージの出力から得た。

【0046】

応力-歪線図から各試験片の特性を求め、表 1 に併せて示した。なお、弾性変形能は引張弾性限強度内の歪であり、引張弾性限強度は、試験片への荷重の負荷・除荷を繰返して行う引張試験において、0.2% 永久歪みを生じさせる応力として求めた。

上記応力-歪線図の一例として、試験片 No. 4 のものを図 1 に示す。

【0047】

(2) 溶体化処理後の組織

溶体化処理後の組織は、X線回折により調べた。その結果を表 1 に併せて示す。

【0048】

(3) 応力誘起変態の有無

応力誘起変態の有無は、試験片に引張応力を付加した状態で X線回折を実施することにより調べた。その結果を表 1 に併せて示す。

【0049】

(評価)

表 1 から明らかなように、Mo eq: 3 ～ 11 質量%、侵入型固溶元素である O: 0.3 ～ 3 質量%としたチタン合金は、全て、溶体化処理後の組織が β 単相となっている。しかも、それらのチタン合金は、いずれも、応力誘起変態を生じず、 β 単相が安定していることも解った。

【0050】

また、それらのチタン合金は、ヤング率が70 GPa以下と低ヤング率である。引張強度も1000 MPa以上と非常に高強度である。さらに、弾性変形能も1.6%以上と高弾性である。特に、試験片No. 4の場合、図1を観れば解るように、比例限が1300 MPaと高く、弾性変形能が2.8%にもなっている。

【0051】

【表1】

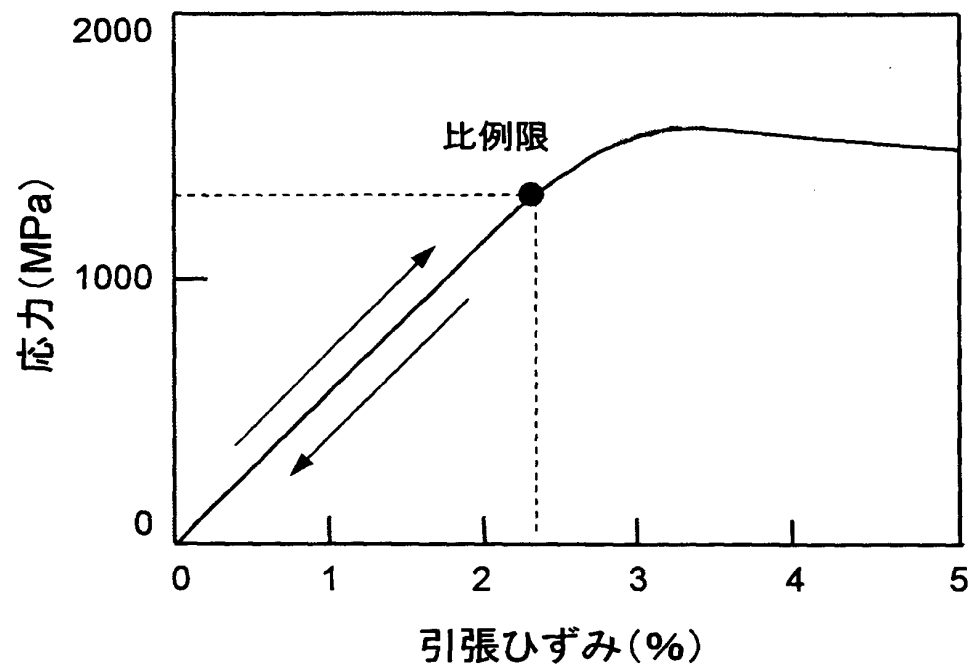
試験片 No.	組成 (質量%)			機械的特性				溶体化処理 後の組織	応力誘起変態 の有無
	合金元素	酸素	M _{0eq}	ヤング率 (GPa)	引張強度 (MPa)	引張 弾性限度 (MPa)	弾性変形能 (%)		
1	Ti-8%V-1%Fe	0.6	8.26	60	1392	1203	2.0	β単相	無
2	Ti-10%Mo-6%Zr-4.5%Sn	0.6	10.00	63	1315	998	1.9	β単相	無
3	Ti-25%Nb-2%Ta	1.5	7.44	65	1820	1569	2.2	β単相	無
4	Ti-32%Nb-2%Ta-3%Zr	0.8	9.40	50	1593	1324	2.8	β単相	無
C1	Ti-40%Nb-10%Ta-5%Zr	0.3	13.40	80	981	789	1.0	β単相	無
C2	Ti-4%Mo-3%Al	0.6	2.00	100	1410	1121	1.1	α相+β相	無
C3	Ti-32%Nb-2%Ta	0.2	9.40	50	904	487	1.0	α''相+β相	有

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例に係る試験片No. 4の応力-歪線図である。

【書類名】 図面

【図 1】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 加工性に優れ、低ヤング率のチタン合金を提供する。

【解決手段】 本発明のチタン合金は、全体を 1 0 0 質量%としたときに主成分である T i と、モリブデン当量 (M o e q) を 3 ~ 1 1 質量%とする合金元素を一種以上と、0 . 3 ~ 3 質量%の、O、N または C の一種以上からなる侵入型固溶元素とを含有すると共に、アルミニウム (A l) は 1 . 8 質量%以下であり、少なくとも室温で β 単相であることを特徴とする。

【選択図】 図 1

特願 2003-205780

出願人履歴情報

識別番号

[000003609]

1. 変更年月日

1990年 9月 6日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1

氏 名

株式会社豊田中央研究所